



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

3rd Semester and Master's Thesis Ideas 2010

M.Sc. in Indoor Environmental Engineering

Jensen, Rasmus Lund; Heiselberg, Per; Brohus, Henrik; Larsen, Olena Kalyanova

Publication date:
2010

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Jensen, R. L., Heiselberg, P., Brohus, H., & Larsen, O. K. (2010). *3rd Semester and Master's Thesis Ideas 2010: M.Sc. in Indoor Environmental Engineering*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Latest News Nr. 13

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

M.Sc. in Indoor Environmental Engineering:

3rd Semester and Master's Thesis Ideas 2010

**Rasmus Lund Jensen
Per Heiselberg
Henrik Brohus
Olena Kalyanova**

Aalborg University
Department of Civil Engineering
Indoor Environmental Engineering

DCE Latest News No. 013

M.Sc. in Indoor Environmental Engineering:

3rd Semester and Master's Thesis Ideas 2010

by

Rasmus Lund Jensen
Per Heiselberg
Henrik Brohus
Olena Kalyanova

November 2009

© Aalborg University

Scientific Publications at the Department of Civil Engineering

Technical Reports are published for timely dissemination of research results and scientific work carried out at the Department of Civil Engineering (DCE) at Aalborg University. This medium allows publication of more detailed explanations and results than typically allowed in scientific journals.

Technical Memoranda are produced to enable the preliminary dissemination of scientific work by the personnel of the DCE where such release is deemed to be appropriate. Documents of this kind may be incomplete or temporary versions of papers—or part of continuing work. This should be kept in mind when references are given to publications of this kind.

Contract Reports are produced to report scientific work carried out under contract. Publications of this kind contain confidential matter and are reserved for the sponsors and the DCE. Therefore, Contract Reports are generally not available for public circulation.

Lecture Notes contain material produced by the lecturers at the DCE for educational purposes. This may be scientific notes, lecture books, example problems or manuals for laboratory work, or computer programs developed at the DCE.

Theses are monographs or collections of papers published to report the scientific work carried out at the DCE to obtain a degree as either PhD or Doctor of Technology. The thesis is publicly available after the defence of the degree.

Latest News is published to enable rapid communication of information about scientific work carried out at the DCE. This includes the status of research projects, developments in the laboratories, information about collaborative work and recent research results.

Published 2009 by
Aalborg University
Department of Civil Engineering
Sohngaardsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Denmark

Printed in Aalborg at Aalborg University

ISSN 1901-7308
DCE Latest News No. 013

Passiv Klimatisering

– tekniske koncepter, konsekvenser og muligheder

Baggrund

De globale miljøproblemer hører til de mest alvorlige og påtrængende i vor tid. Energiforbruget i bygninger er en af de mest betydende enkeltfaktorer i den sammenhæng. Umiddelbart vil byggelovgivningen i løbet af de næste par år kræve en reduktion af energiforbruget i forhold til det nuværende på 25%, men skal bygninger på lang sigt være bæredygtige kræves der en langt mere vidtgående reduktion i forbruget svarende til en reduktion på 80-90%.

Ved passiv klimatisering sker der en optimal udnyttelse af kølepotentialer i udeluften eller eventuelt i jorden ved bygningen, i kombination med størst mulig begrænsning af varmetilførslen til rummene, fx ved effektiv solafskærmning og udnyttelse af bygningens dynamiske, varmelagrende egenskaber. Den største udfordring er nok at få det hele til at virke som én integreret løsning, der giver optimalt indeklima med mindst mulig energiforbrug.

Der kan arbejdes med to forskellige projekter

Projekt 1: Simplificerede beregningsmodeller som BE06 er ikke særligt velegnede til beregning af kølebehov og sommerforhold i bygninger. Der er således behov for en analyse af hvor detaljerede modeller, der er nødvendige for at beregne dette med tilstrækkelig nøjagtighed og om der evt. kan udvikles en ny algoritme til BE06.

Projekt 2: I projektet kan der specielt ses på udnyttelse af bygningens termiske kapacitet og natkøling af bygningen med naturlig ventilation. Bygningens termiske kapacitet kan forbedres væsentligt ved udnyttelse af faseændringsmaterialer (PCM Phase Change Materials) med smeltepunkt omkring rumtemperatur. Dette forøger både kapaciteten og reducerer samtidigt temperaturvariationen i bygningen. Udfordringen ligger i at implementere dette nye materiale i bygningskonstruktionen og finde nye måder at transportere energi til og fra materialet på.

Formål

Det primære formål med projektet er at undersøge og identificere beregningsmæssige og tekniske konsekvenser og muligheder ved passiv klimatisering af kontorbygninger.

Projektets parter

Projektet gennemføres i samarbejde mellem

Institut for Byggeri & Anlæg, Aalborg Universitet, BASF A/S, Spæncom A/S, og/eller Aalborg Portland A/S

Projektet egner sig til et langt afgangsprøveprojekt og som studerende vil man blive tilknyttet projektgruppen.

Vejledere: Per Heiselberg og Rasmus Lund Jensen – samt øvrige projektdeltagere

Projekt på baggrund af henvendelse fra Tryg forsikring. Projektet vil blive gennemført i samarbejde med Tryg med Per Heiselberg og Rasmus Lund Jensen som vejledere.

LUFTSTRØMME I BOLIGER

Med baggrund i den øgede fokus der er på skimmel i vores boliger, vil vi gerne have foretaget undersøgelser af luftstrømme i beboelsesrum, tagrum, kældre etc. Undersøgelsen kunne finde sted i et hus eller 2, som vi vil forsøge at finde. Der vil sandsynligvis blive tale om almindelige villaer.

Man ved at skimmel spreder sig i form af luftbårne partikler så som sporer, svampedele etc. og at nogle skimmelsvampe udskiller mykotoksiner, (giftig gasart), når de vokser. Da partiklerne er luftbårne er det vigtigt at kende luftstrømmene i en bolig, hvordan de passerer hen over materialer, hvordan de passerer fra en bygningskonstruktion til en anden, etc

Luftstrømmene skyldes typisk, at der er trykforskel på de enkelte bygningsdele eller overflader på grund af vindpåvirkning og temperaturforskelle. Derfor bør undersøgelserne udføres ved forskellige klimatiske forhold.

Nogle emner der kunne undersøges var om der er ”pumpevirkning” når man går hen over et gulv på strøer, således at der pumpes luft fra gulvkonstruktionen og op i rummet ovenover, hvor stor denne effekt eventuel er og hvad man kan gøre for at stoppe den. Ligeledes kunne man undersøge om der en luftstrømme fra en krybekælder og op i beboelsen, og hvis der er, hvad man kan gøre for at stoppe det, f.eks. etablering af et undertryk af en vis mængde i krybekælderen.

Som ved krybekælderen kunne man også undersøge om der er tilsvarende strømninger fra et tagrum og ned i beboelsen, måske ved utætheder ved en skyggeliste, og hvad man eventuelt kan gøre for at stoppe det.

I bygninger er der også nogle steder med ”stillestående” luft, f.eks. i lette skillevægge, forsatsvægge, nedsænkede lofter, ved dampspærre etc. Hvad sker der i disse, står luften stille eller er den en form for strømning ?

Undersøgelserne ønskes først og fremmest udført i beboelsesbygninger, men det ville også have interesse hvis de blev udført i etageejendomme.

Hvorledes selve undersøgelserne udføres vil vi i høj grad være op til jer, men vi vil selvfølgelig gerne være med på sidelinjen.

Venlig hilsen

Lars Hastrup

bygningskonstruktør
Telefon: 23212849 - Mobil: 23212849 - Fax: 76427227
Tryg - Byggeteknik, 2TBU - Sønderbrogade 36 - 7100 Vejle

Modellering af dobbelte glasfacader



Bygninger projekteres i dag i langt højere grad i samspil med udeklimaet og omgivelserne samt med udstrakt brug af passive teknologier som passiv solvarme, passiv køling, dagslys og naturlig ventilation for at reducere energiforbrug og miljø-belastning. Bygningens facader spiller i den henseende en afgørende rolle som "filter" mellem ude- og indeklimaet. En stor del af bygningens klimatisering (lys, varme, ventilation og køling) vil kunne decentraliseres og



primært foregå i facaden. Det forudsætter, at mange forskellige funktioner skal kunne håndteres i facaden og kunne optimeres og styres i forhold til hinanden og til indeklima- og energibehov i den bagvedliggende zone.



Indenfor de sidste år er der opført en række byggerier med multi-funktionelle facader (ofte i form af dobbelte glasfacader), der både skal tilføre bygningen passiv solvarme, dagslys, naturlig ventilation, passiv køling og elektricitet (via integration af PV-celler), men som også skal beskytte indeklimaet mod udefra-kommende påvirkninger ved hjælp af lydisolering, luftfiltrering, solafskærmning og dæmpning af variationer i vindtryk. Disse såkaldte intelligente facader er ofte dyre high-tech løsninger, der på trods af den påståede intelligens alligevel ofte leder til indeklimaproblemer og forøget energiforbrug.



AAU har netop opført en ny testbygning til gennemførelse af forsøg med multifunktionelle facader. Det første projekt omhandler udvikling af modeller for beregning af temperatur- og strømningsforhold i dobbelte glasfacader. Projektet skal danne grundlaget for afprøvning og videreudvikling af en simplificeret beregningsmodel for dobbelte glasfacader.



Projektet kan omhandle følgende problemstillinger:

Måling af temperatur- og luftstrømningsforhold i facade med konstant ventilationsluftmængde (mekanisk ventilation) og/eller varierende ventilationsluftmængde (naturlig ventilation)

Evaluerings og videreudvikling af simplificeret beregningsmodel til simulering af temperatur- og strømningsforhold i dobbelte glasfacader

Vejledere: Per Heiselberg, Olena Kalaynova, Rasmus Lund Jensen

Jordvarmeveksler til ventilation af lavenergihuse - effekt og omkostning

Titel: jordvarmeveksler til ventilation af lavenergihuse - effekt og omkostning

Udbyder: [Birch & Krogboe](#)

Baggrund

Energiforbrug til rumopvarmningen udgør nærmest en fjerdedel af det danske energiforbrug, med deraf følgende negative virkninger på miljøet. Ved at forbedre bygningernes energimæssige ydeevne kan store energibesparelser realiseres. I landene omkring Danmark blev højt isolerede lavenergihuse uden egentligt varmesystem - såkaldte passivhuse - udviklet og udbredt på markedet. Store dele af konceptet kan med fordel danne model for byggeri i lavenergiklasse 1, jf. Bygningsreglementet § 8.2.4, da konceptet forener lavt energiforbrug med lave investeringer. Dog skal nogle komponenter og delkoncepter afprøves og justeres efter danske klimaforhold for at bevare effektiviteten af dette byggeri.

Projekt beskrivelse

I landene omkring Danmark har udviklingen af lavenergihuse med et energibehov til rumopvarmning på ca. 15 kWh/m² /a taget fart. Bygninger med så lavt et energiforbrug er udført særlig tætte og udstyret med et mekanisk ventilationsanlæg med høj varmegenvinding. Jord-luft-varmevekslere forvarmer bygningens udeluft om vinteren og kan bruges til køling af om sommeren. Hvis jord-luft-varmeveksleren skal bruges om sommeren stiller det udfordringer til håndtering af kondens og fugt i vekslerne for at undgå skimmelsvamp. Hvis anlægget ikke udføres gastæt, blandes bygningens friskluft med radon fra jorden. Jord-luft-varmeveksleren skal dermed udføres i en vis kvalitet og form for at undgå forureninger i indeklima fra skimmelsvampesporer og radon.

De danske vejrforhold er mere moderate end i landene nord- og syd for Danmark. Der bliver mindre koldt om vinteren og hvad angår Tyskland og Østrig også mindre varmt om sommeren. Effekten af jord-luft-varmeveksleren i Danmark vil derfor - alt andet lige - være mindre, end det som erfaringerne viser fra disse lande.

Effekten af forskellige udformninger og materialer af jord-luft-varmevekslere skal modelleres for forskellige bygningstyper og belastninger. I litteraturen finder man mange erfaringer med de forskellige materialer. Materialevalg og udformning forekommer dog nogle gange tilfældigt. Vi er især interesseret i modelleringer af varmevekslere til etageboliger, institutions- og undervisningsbyggeri samt kontorbyggeri.

Ud over den tekniske modellering skal projektet komme frem til anbefalinger for i hvilke situationer en jord-luft-varmeveksler er konkurrencedygtig i forhold til andre teknologier.

Birch & Krogboe har stor erfaring med passivhusbyggeri og andet byggeri med et lavt energiforbrug. Projektets deltagere vil kunne få indblik i vores aktuelle projekter på området og erfarne medarbejder på vores kontorer i Virum og Aalborg vil kunne understøtte projektgruppen under hele forløbet.

Dynamic Wall Systems

The project focuses on the analysis and development of concrete building construction elements, which can be actively used for transfer and storage of heat and air. In many buildings like offices, schools and other commercial buildings there is a cooling need during occupied hours and a heating need in nights and weekends. If heat during daytime could be stored in the building construction more efficiently and released during night-time, the energy use for heating and cooling could be reduced considerably or might even be eliminated.

In order to exploit concrete constructions elements more efficiently porous concrete materials should be developed that allow the transfer of air and thereby improves the heat transfer and storage capabilities. In order to maintain a high thermal capacity of the construction at acceptable temperature levels phase change materials should be integrated in the construction. Some ideas for the development of a porous concrete construction already exist, but there is a strong need for integration of PCM's in the construction and analysis of the structural and thermal performance. In order to transfer energy efficiently from the indoor environment to the concrete construction and vice versa air systems needs to be developed as well as the best way to integrate these systems into the building construction.

Description

The project will include the following main tasks:

Literature/State-of-the-Art study regarding passive cooling, thermal mass activation, phase change materials, porous concrete technology, modeling of heat and mass transfer in porous materials, modeling of phase change materials.

Development of ideas and concepts for potential technical solutions for application of porous concrete and phase change materials in building construction for passive cooling purposes.

Experimental characterization of thermal and structural performance of porous concrete and porous concrete in combination with phase change materials

Supervisors:

Prof. Per Heiselberg, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet

Lektor Eigil Sørensen, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet

Project Manager, PhD, Tommy Bæk Hansen, Research and Development Centre, Aalborg Portland Group.

Ventilated Air Gabs

Background

Ventilated air gabs are used in many façade constructions both for new buildings and for renovation in order to remove any moisture transport through the building envelope from the inside or through leaks in the rain screen. Theoretical considerations and calculations combined with empirical observations can be used to develop simplified calculation models that allow us to analyze and pass judgment on the moisture properties of the constructions and increased heat loss.

Objective

The objective is to develop and verify a calculation model for the air flow and heat balance in naturally ventilated air gaps. The work includes analytical modelling and computational simulations as well as full scale measurements. The calculation model will offer the possibility to determine the necessary dimensions of an air channel for given climatic conditions and amount of excessive moisture in the construction as well as the increased heat transport.

Project description

This project will focus on investigating the phenomena of natural convection in channels of varying geometries under the influence of surfaces of non-uniform temperatures and the capacity of drying out excessive moisture through the surfaces of the channels. The project will include the development of a numerical method for dealing with the iterative process of calculating the heat transfer coefficient on the basis of the temperatures. This work will be verified through finite element simulations in Comsol Multiphysics on basis of the Navier-Stokes equations. The project will include studies of the natural convection and drying out of vertical air gaps with and without the effects of solar radiation. This will include a study of critical conditions for convection in air gaps in terms of exterior and interior climate. The project will contain investigations of the influence of the different geometrical configurations as well as practical considerations regarding ventilated air gaps in rendered walls. The aim is to propose a reliable channel configuration for such a construction.

The theoretical work will be followed up by full scale laboratory and in situ measurements. This part will include a comparative study of the methods available for measuring low range velocities in air gaps and channels.

Project partners.

Aalborg University, Fiberline A/S, Saint Gobain Isover A/S

Supervisors: Per Heiselberg, Rasmus Lund Jensen

Energy Storage simulation with Smartboards

Introduction:

KnaufDanogips is the leading manufacturer of gypsum based products such as gypsum wall boards. The product Knauf SmartBoard contains 30% phase change material which allows the board to absorb and release large amounts of energy around a very narrow temperature interval. The boards are used internally in buildings and reduce the risk of rooms overheating and hence reduce the energy consumption while increasing the comfort for the inhabitants.

To support to optimal amount of Smartboards and the optimal placement in the buildings a thermodynamical simulation is required. For this purpose the software program PCM-Express has been developed and can provide relatively quick simulation of the effects of the use of Smartboards. PCM-Express is a light version of larger programs such as BSim, Trnsys etc. and the user target group for the program is buildings engineers, architects, investors and sales consultants from the Knauf organization. The program is available in English; however the data content reflects German building standards and is not ready to use under Danish conditions and several tasks need to be completed in order to provide users with easy-to-handle simulations.

The tasks include:

- Determine typical Danish methods for construction through research and interview with Knauf sales consultants.
- Selection of relevant materials in data library of PCM-Express. Update of relevant materials in the data library of PCM-Express with regards to information on lambda, density etc.
- Creation of complete structures for walls, roof, floors in PCM-Express.
- Determine relevant room structures which are relevant for the Danish market through research and interview with Knauf sales consultants. Creation of models of relevant room structures in PCM-Express
- Carry out calculations on the room models in PCM-Express and analyze the result with respect to performance with/without active/passive cooling systems. Carry out sensitivity analysis for room models to determine the most critical factors which influence the performance of Smartboards (positively and negatively)
- Conduct validation on PCM-Express simulations though BSim for the different room models. Based on the results from PCM-Express and BSim calculate and analyze the impact on the energy classification for the different models.
- Development of user guide for the PCM-Express to be used primarily by Knauf sales consultants.

Outcome

- A modified version of PCM Express which includes construction structures and room models which are representative of Danish methods of construction.
- An overview of case stories based on the models and their energy performance.
- A user guide for Knauf sales consultants which makes them able to present customers with a preliminary screening of the performance of Smartboards.

Companies involved

KnaufDanogips A/S and BASF A/S

Supervisors: Per Heiselberg and Rasmus Lund Jensen

AAU Project Proposal

Analysis of a Solar-ventilation product which combines the need for sustainable ventilation and heating in homes, summer houses, basements, garages etc.

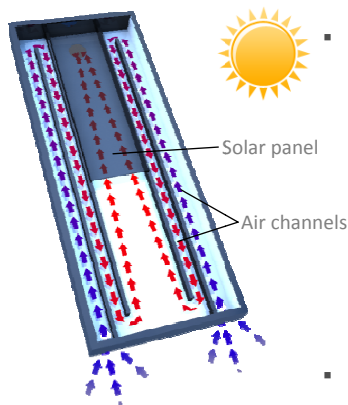
General areas of interest (amongst others):

- Optimization of airflow
- Thermodynamics & Heat transmission
- Indoor climate

Contact:

Michael Nielsen - Product Developer
M: +4522249152 E: mwn@sunecoair.com

Sun Eco Air's warm-air concept:



- The Sun's energy is used to:
 - thermodynamically heat fresh air through the product by means of a special design and construction with a long heating channel for the air. Due to this an increase in temperature of up to 50°C is possible in optimal conditions.
 - produce power using a solar panel to drive the ventilator used in the product - used to pump heated fresh air into the house. Cooling the house is also possible by pumping air out again in warm conditions.
- Sun Eco Air's controlling unit - *SEA-Controller*, is designed to optimally utilize the sun's energy to power the ventilation unit. The user is given the choice of specifically controlling the combination between airflow and heating output.

Sun Eco Air sells its products to customers in need of better ventilation to reduce moisture build-up and poor indoor climate conditions, as well as heating. Our sales argument is:

"1 out of 4 homes in Europe have moisture problems due to lack of (or poor) ventilation [WHO]. These problems can be hindered using a green and economic solution - Solar ventilation from Sun Eco Air!"

We are interested in analyzing and optimizing our products in different areas. The following is of interest:

- **Airflow** : It is important that we can reduce the airflow resistance through the product so that we in turn can reduce the size of ventilation fan used - which directly influences the energy needed to power the fan. At the same time, it is interesting to specify which airflow volume or speed is optimal to achieve the highest possible air temperature at the products outlet.
- **Thermodynamics & Heat transmission**: Are the materials used and surface finishing chosen optimal for the generation and storage of heat in the product? Do unwanted thermal bridges exist in critical regions? What does the installation angle with regards to the sun's position mean for the produced heat?

Other interesting aspects:

- Wh vs. W/m² vs. °C_{outdoor} : Produced heat (effect) as a function of different solar irradiance levels and outdoor temperatures. Providing this as a function of the airflow through the product would furthermore provide a more wholesome idea of the products potential in different conditions throughout the year.
- Wind disturbance of the airflow into the product: Is the air intake position optimal with regards to the influence of the wind when the product is installed?

With regards to **indoor climate** problems:

- How much does the provided ventilation and heating from the product help poor indoor climate problems (build up of moisture, building degeneration due to moisture, poor concentration and working environment, mould etc. etc.). Furthermore:
 - Is the airflow provided optimal or too low?
 - Is too much/little heat provided?

If you have any questions feel free to contact us!

Mantra:

"Think Green - Act Right"

Company history:

Sun Eco Air is a privately owned and financed company started by Andreas Munk (Economist from AAU 2005). The company is established in 2008 and based in Aalborg. All product development is done in-house, while production etc. is outsourced to partners situated near Aalborg.

It is Sun Eco Air's objective to collaborate with research institutions in Aalborg and constantly develop our knowledge and competences.

Product Line for ventilation and heating:

SEA-40



Height: 700mm
Width: 700mm
Use: 40m²
Solarpanel:
12V, 7Watt
Fan:
12V - 70m³/h
Construction:
Aluminium
Screen:
Polycarbonate

SEA-120



Height: 1800mm
Width: 700mm
Use: 120m²
Solarpanel:
12V, 19Watt
Fan:
12V - 250m³/h
Construction:
Aluminium
Screen:
Polycarbonate



Ventilation af store rum med mange mennesker

*Der mangler viden om ventilation af store rum med stor personbelastning
De sædvanlige modeller for personer forudsætter normalt, at personerne er enkeltstående – modsat virkeligheden!
Hvad sker der, når mange mindre varmekilder kombineres?
Hvordan ventilerer man denne type rum optimalt?*

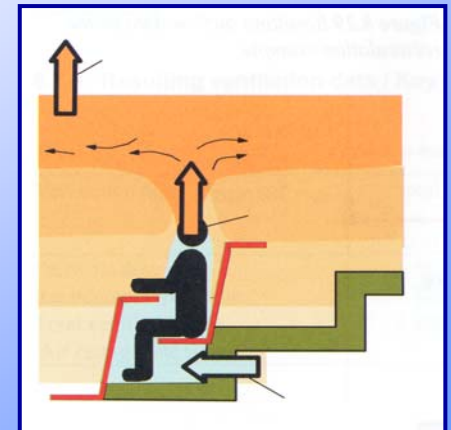
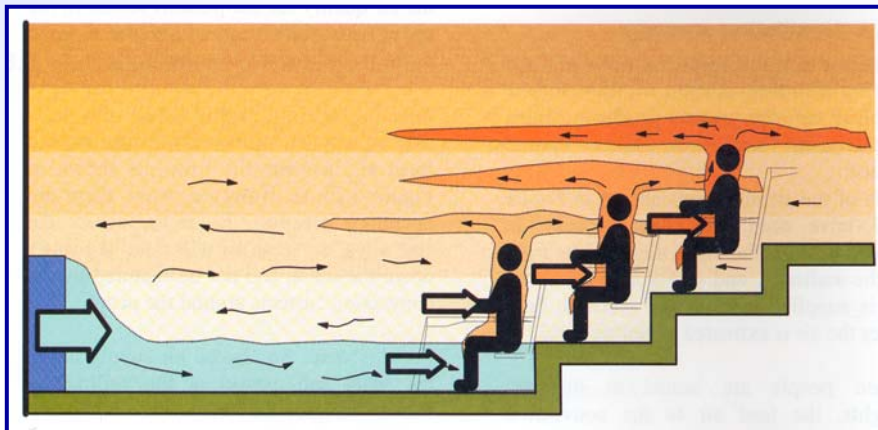
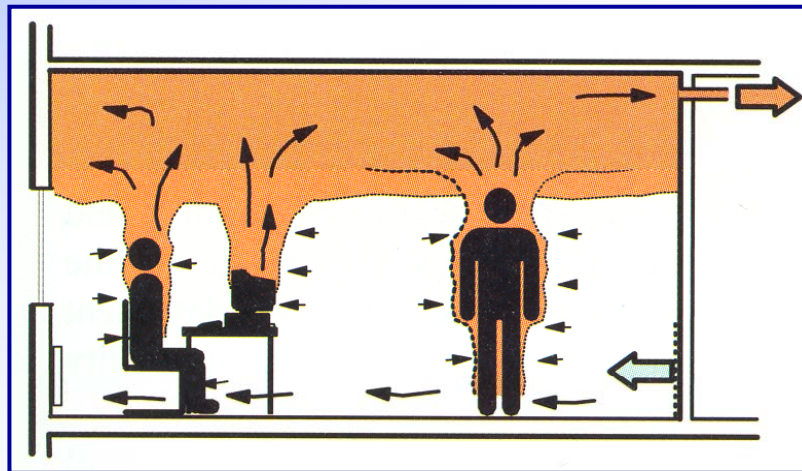
- Langt afgangsprojekt (9. – 10. semester) for 1 – 3 studerende
- I samarbejde med: Rambøll (evt. ophold i kortere periode)
- Vejledere: Henrik Brohus og Peter V. Nielsen

Projektets formål er praktisk og teoretisk at undersøge ventilation af store bygninger med mange mennesker til stede. Der foretages et litteraturstudium af teori og praksis. På baggrund af modelforsøg og CFD simuleringer opstilles der vejledning og principper for optimal ventilation denne type bygninger.





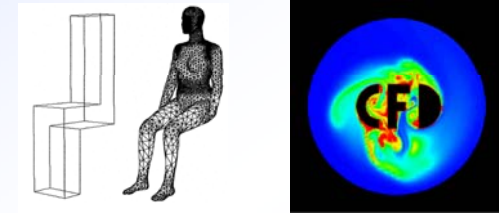
Personers interaktion med ventilationen *når der er mange...* (strømnings- og forureningsfelter)





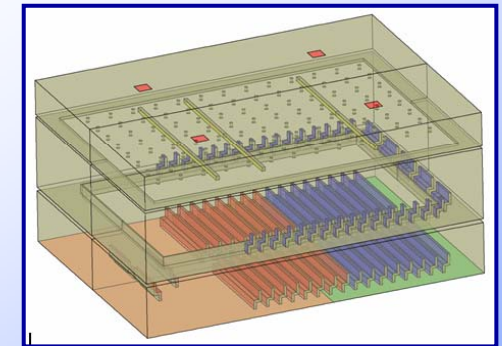
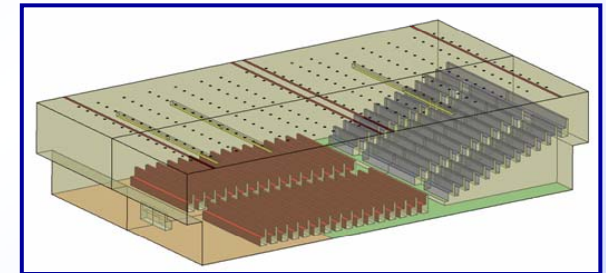
DEL 1: State-of-the-art undersøgelse

- Litteraturstudium
- Personmodeller (enkelt + mange)
- Ventilation af store bygninger (principper + praktiske erfaringer)



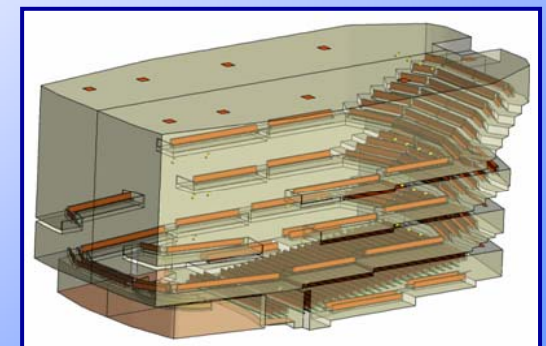
DEL 2: Modelforsøg med varierende personbelastning (koncentration og placering af "mange" varmekilder)

- Opbygning af geometrier og ventilationsprincipper
- Simpel model af person (enkelt + mange)
- Interaktion mellem personer og ventilation
- Cases

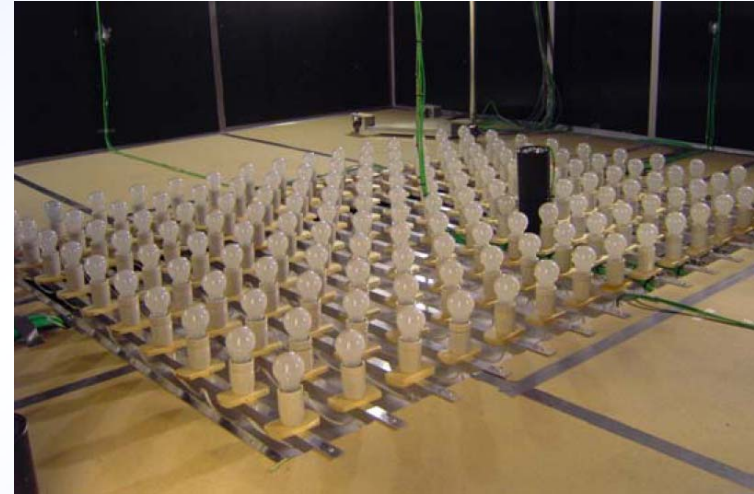
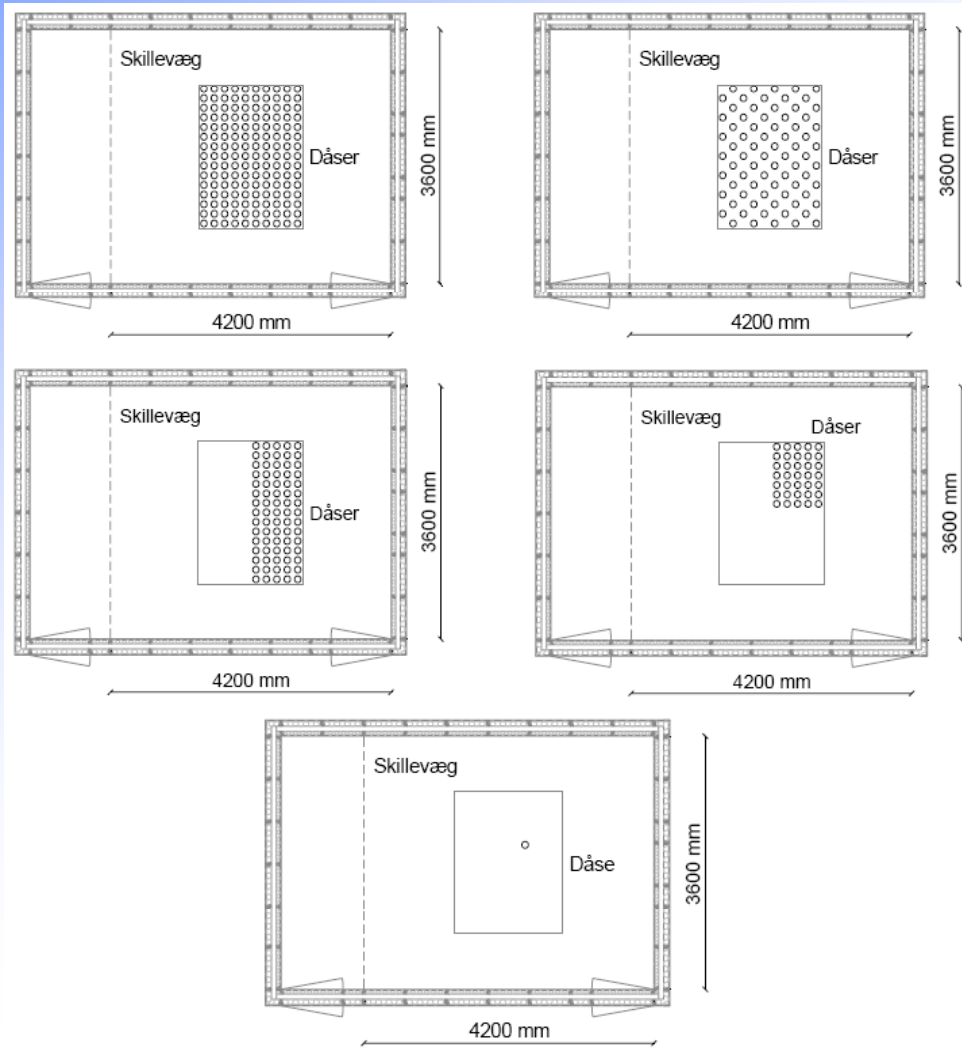


DEL 3: CFD simulering af store rum med mange mennesker

- Opstilling af CFD randbetingelser
- CFD modeller (få/mange personer + ventilation)
- Cases
- Validering (KS, UA/SA, sammenligning og vurdering)
- Opstilling af designmetode/principper



Målinger i Lisbeths projekt...





Indoor Environmental Performance Criteria

*De aktuelle kriterier for vurdering af bygningers indeklima er utilstrækkelige
Kan der opstilles kriterier som på en gang er dækkende og samtidigt
anvendelige i praktisk brug?*

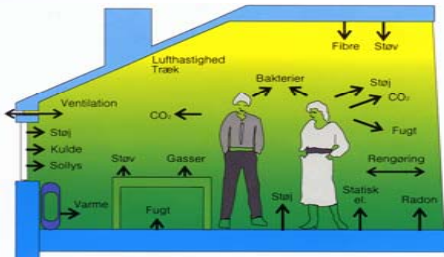
Ting varierer i virkeligheden – hvordan tages det i regning?

Kan det implementeres i BSim?

Baggrund bl.a. for et aktuelt PSO projekt og et potentielt FP7 (EU) projekt

- Langt afgangsprøve (9. – 10. semester) for 1 – 3 studerende
- I samarbejde med: SBI m.fl.
- Vejledere: Henrik Brohus og Rasmus L. Jensen

Projektets formål er opstilling og implementering af relevante og praktisk anvendelige kriterier til vurdering af bygningers indeklima med hensyntagen til de i praksis forekommende varierende belastninger.





Traditional Comfort Indicators, e.g. Danish Standard 474

$$\sum_{i=1}^{n_w} x_i \leq 100 \text{ hours} \quad x_i = \begin{cases} 1 & \text{if } t_{op,i} > 26^{\circ}\text{C} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{n_w} y_i \leq 25 \text{ hours} \quad y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } t_{op,i} > 27^{\circ}\text{C} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

- i = Working hour [-]
- n_w = Number of working hours [-]
- $t_{op,i}$ = Operative temperature for working hour i [$^{\circ}\text{C}$]



New Comfort Indicators (PI)

$$PI_{Cum} = \int_{\tau_{beg}}^{\tau_{end}} \text{CI}(\tau) d\tau \approx \sum_{n_{beg}}^{n_{end}} CI(\tau) \Delta\tau$$

$$PI_{Cum,AAL} = \int_{\tau_{beg}}^{\tau_{end}} z(\tau) d\tau \approx \sum_{n_{beg}}^{n_{end}} z(\tau) \Delta\tau$$

$$z(\tau) = \begin{cases} CI(\tau) - AL & \text{if } CI(\tau) > AL \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

CI = **Comfort Indicator** (e.g. PPD, PD, DR) [% (of dissatisfied)]

PI_{Cum} = Performance Indicator, Cumulative **[%-hours]**

$PI_{Cum,AAL}$ = Performance Indicator, Cumulative, Above Acceptance Level [%-hours]

AL = **Acceptance Level** [C/]



Spreadsheet Based Tool

Parameters for calculation of PMV and PPD				
Parameter		Value	Unit	Symbol
Define four <u>successive</u> and <u>non-overlapping</u> periods, e.g. winter, spring, summer, autumn:				
Period A	Jan 2004	1st	to Mar 2004	31st
Period B	Apr 2004	1st	to Jun 2004	30th
Period C	Jul 2004	1st	to Sep 2004	30th
Period D	Oct 2004	1st	to Dec 2004	31st
Thermal insulation of clothing:				
Period A	Winter DS EN 13779	1.00	[clo]	(I_cl)
Period B	Summer DS EN 13779	0.50	[clo]	(I_cl)
Period C	Summer DS EN 13779	0.50	[clo]	(I_cl)
Period D	Winter DS EN 13779	1.00	[clo]	(I_cl)
Clothing area factor:				
Period A		1.15	[-]	(f_cl)
Period B		1.10	[-]	(f_cl)
Period C		1.10	[-]	(f_cl)
Period D		1.15	[-]	(f_cl)
Metabolic rate (metabolism):				
Activity level	Typewriting	70.0	[W/m ²]	(M)
		1.2	[met]	(M)
Rate of mechanical work accomplished		0.00	[W/m ²]	(W)
Internal heat production		70.00	[W/m ²]	(H)
Mean air velocity		0.08	[m/s]	(v_a)
Barometric pressure		101325	[Pa]	
Calculation of relative humidity				
Water vapor pressure	Time dependent			(P_da)
Air temperature			[°C]	(t_a)
Relative humidity			[%]	(RH)
Fixed value			[Pa]	(P_da)
Convective heat transfer coefficient			[W/m ²]	(α_k)
Surface temperature of clothing				(t_cl)
Period A			[°C]	(t_cl)
Period B			[°C]	(t_cl)
Period C			[°C]	(t_cl)
Period D			[°C]	(t_cl)

Up to four different periods

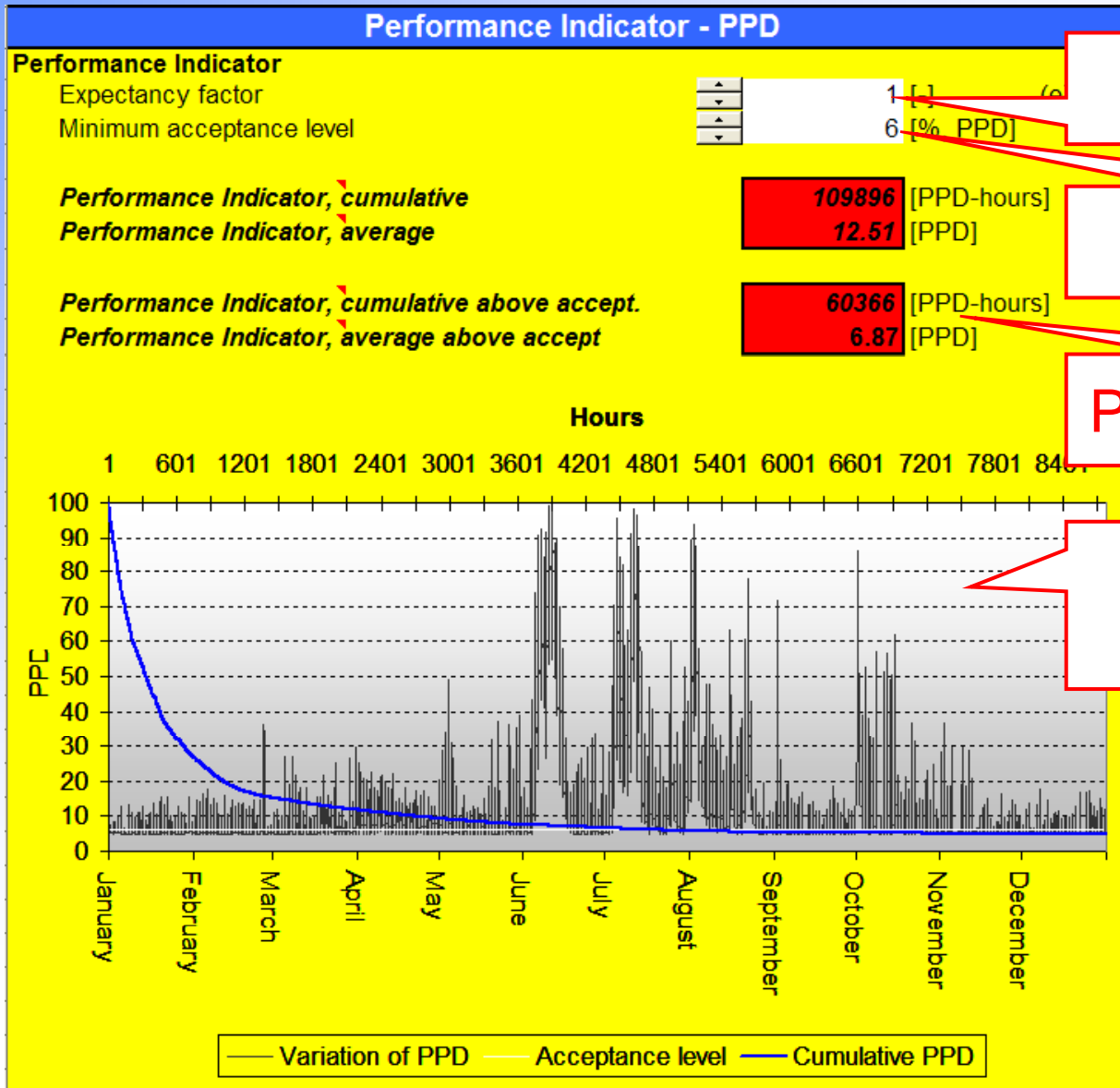
Clothing insulation

Activity level

Misc.



Performance Indicators



Expectancy factor

Acceptance level

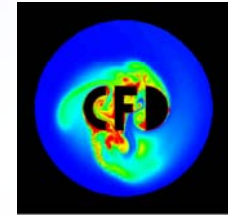
Performance Indicators

Time-varying and
cumulative values



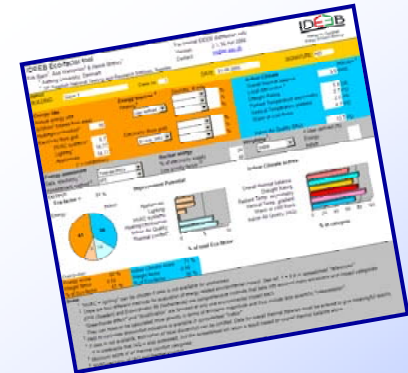
DEL 1: State-of-the-art undersøgelse

- Litteraturstudium
- Eksisterende danske og internationale kriterier
- Krav til nye kriterier
- Etc.



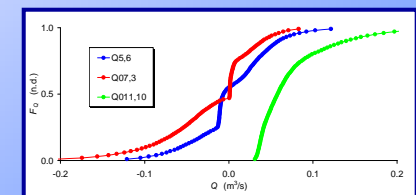
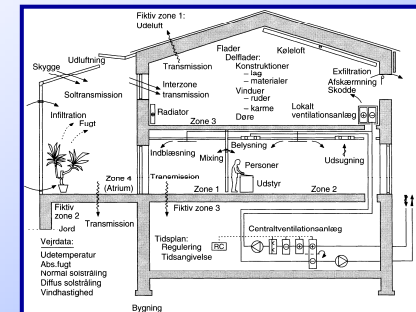
DEL 2: Opstilling og afprøvning af kriterier inkl. hensyn til varierende belastninger

- Opstilling af kriterier
- Beskrivelse af varierende belastninger
- Beregningsgang + UA/SA
- CFD (lokale felter, vurdering af usikkerhed mv.)



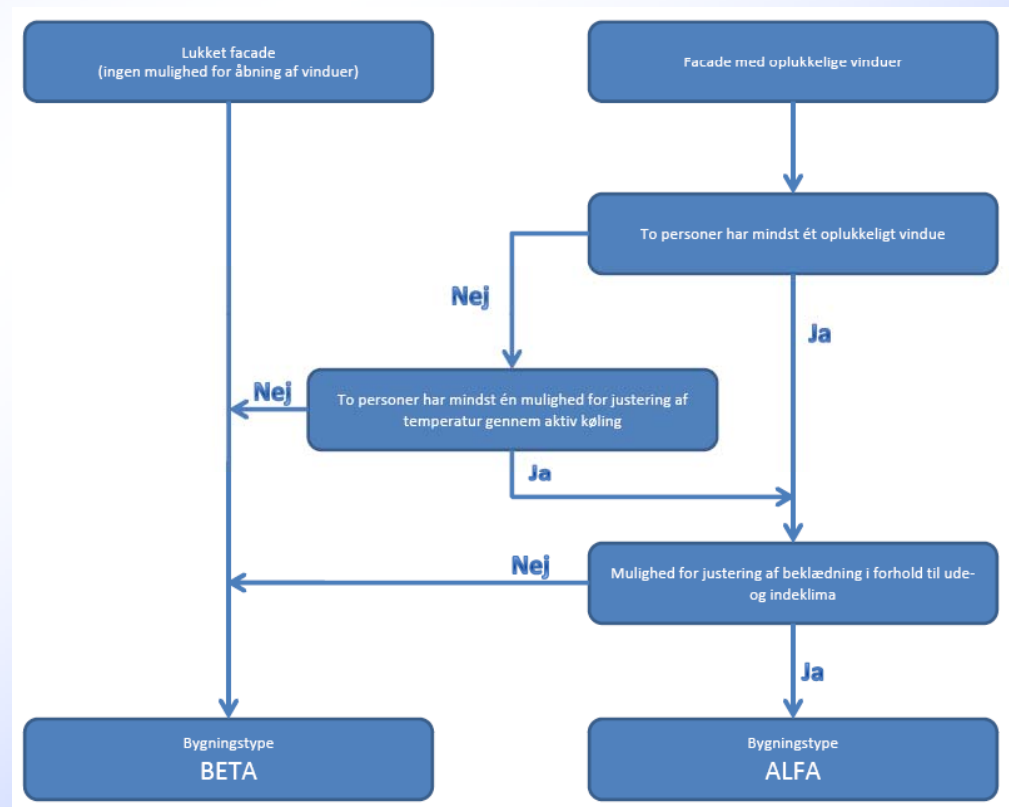
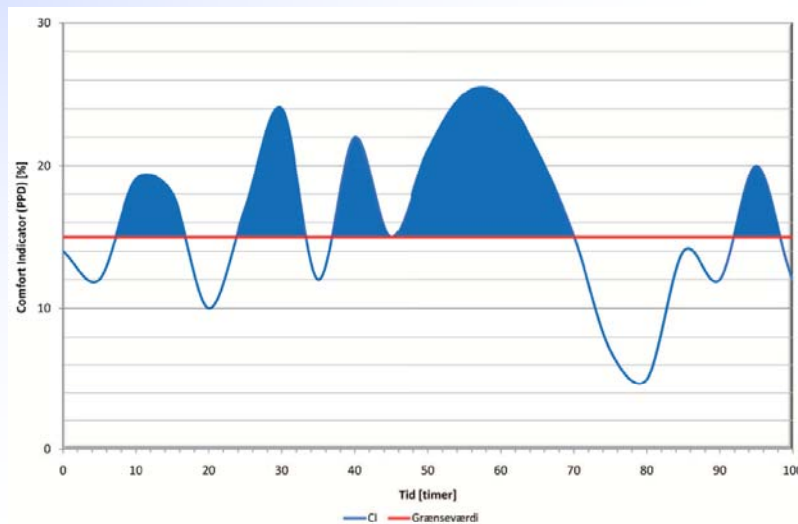
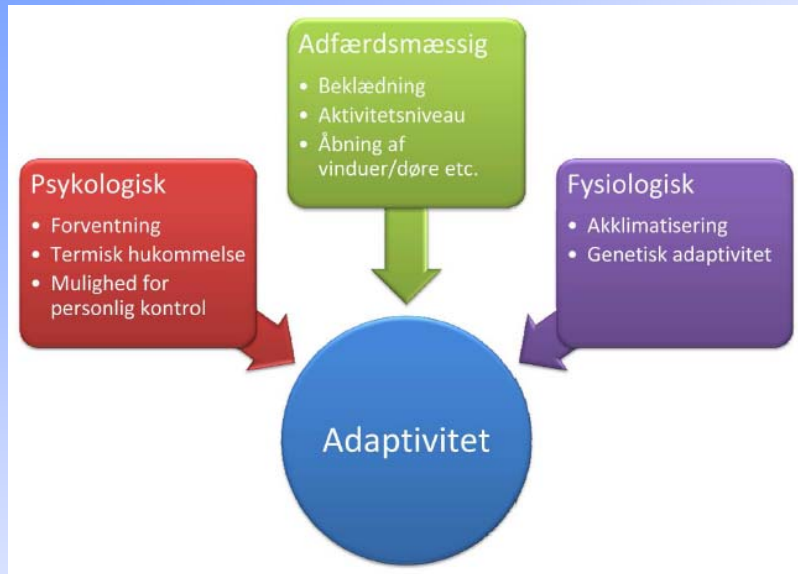
DEL 3: Implementering i BSim og afprøvning

- Implementering i samarbejde med SBI
- Herunder UA/SA
- Udvælgelse af test cases (eksisterende bygninger)
- Validering og vejledning





Eksempler fra Rasmus og Steffens projekt...

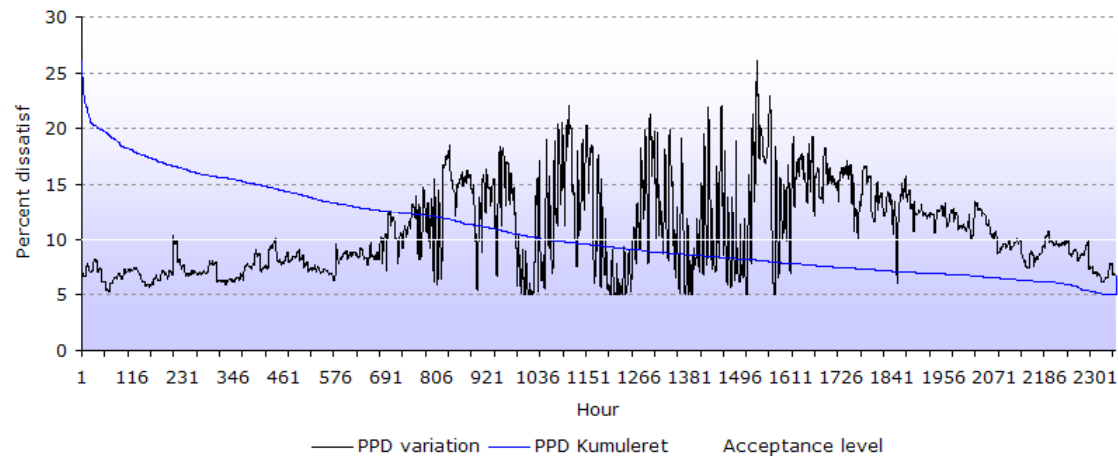




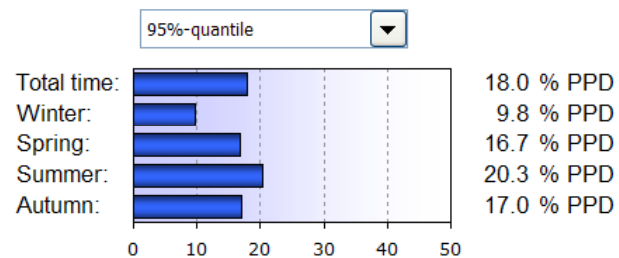
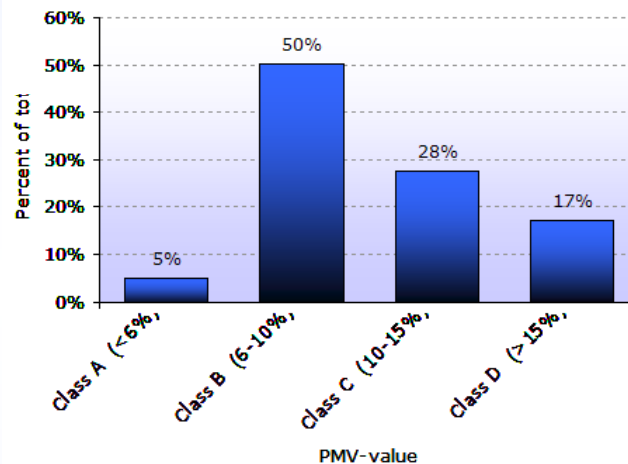
Eksempler fra Rasmus og Steffens projekt...

Global discomfort

Predicted Percent Dissatisfied - PPD



Statistics for PPD:



Summary for total time:

Average	10.6 % PPD
95%-quantile	19.1 % PPD
PPD-weighted criteria	1497 PPD-hour



indsigt

VARMEFORBRUGET i nye bygninger er ude af kontrol

Det høje varmeforbrug får eksperter til at stille spørgsmålstegn ved, om Danmark kan opnå de forventede besparelser ved at stramme energikravene

IKORTLED
■ Nye bygninger bruger 20-25 pct. mere energi end forudsat i lovgivningen.
■ Nye regler indeholder intet krav om måling af varmeforbruget.

AF Sanne Witttrup og Erik Holm
sw@ing.dk og erh@ing.dk

Mange af Danmarks nyere bygninger bruger langt mere varme, end de ifølge bygningsreglementet burde. Årsagen er både byggeriets dårlige kvalitet, projekteringen, og at folk skruer mere mere op for varmen, end reglerne tager højde for.

Det høje energiforbrug får byggespekter til at stille spørgsmålstegn ved, om Danmark kan opnå de markante energibesparelser, der ventes at følge af kravene i det nye bygningsreglement.

»Hvis vi skal nå de energibesparelser på 25-30 pct., som bygningsreglementet lægger op til, så skal der meget mere fokus på området. Bygningens energiprofil skal testes i praksis, og det skal være muligt at stille projekterende eller entreprenører til ansvar for bygnings energistand,« siger direktør for rådgiverfirmaet Cenergia, Peder Vejsgaard Pedersen.

Han har beskæftiget sig med lavenergibyggeri i mange år, og hans erfaring er, at det beregnede energiforbrug sjældent holder kravene i bygningsreglementet. Det overskrider ofte med 20-25 pct.

Det findes ingen samlet opgørelse af, hvor stor forskellen

mellem det faktiske energiforbrug og forudsætningen i bygningsreglementet er. Men en hel række eksempler og udtalelser tyder på, at der er en forskel.

En opgørelse fra Statens Byggeforskningsinstitut, baseret på energikonsulenternes vurderinger, viser, at kun store parcelhuse, bygget efter 2000, overholder kravene i Bygningsreglementet fra 1995, mens de små huse overskrider i forbruget med omkring 50 pct. og de mellemstore med ca. 10 pct.

På prestigebyggeriet, det EU-støttede Bo 011 i Malma, går det meget værre. Energirammen for husene var sat til 105 kWh pr. m² til både varme, varmt vand og el. Men en opgørelse fra Lunds Universitet viser, at forbruget er 40-60 pct. større, og opvarmningen er den store synder.

Ingen konsekvenser

Konsulent Hans Døllerup fra landsforeningen Økologisk Byggeri har gennemgået det reelle varmeforbrug i en række tilfældigt valgte, nyere danske kontorbygninger og kulturhuse – heriblandt ingeniørhuset og Rockwools forskningscenter. Han har fundet frem til meget store overskridelser i forhold til byggeoglovgivningen eller de individuelle mål, bygherrerne har sat sig.

Hans Døllerup mener, at det er på tide, at forskellen mellem det målte og det beregnede forbrug kommer til debat.

»Hvis man kører for hurtigt i sin bil, får man en bøde eller et klip i kortet. Sådan er det ikke i byggebranchen, hvor selv store overskridelser af bygningsreglementets energikrav ikke får nogle konsekvenser for den projekterende – kun for forbrugeren og for miljøet,« siger han.

Endnu et eksempel kommer fra et forsøgsbyggeri med ældreboliger i Borup, hvor BYG DTU og Teknologisk Institut skulle teste kvaliteten af forskellige typer isolering. De kom aldrig frem til en konklusion på grund af sjusk og dårligt udført arbejde.

»Entrepenører og projekterende vidste, at der ville komme forskellige målinger. Hvordan kan det så være, at man ikke har udført det fuldstændigt efter forskrifterne? Og når man ikke har undersøgt sagen nærmere. Han fastslår, at de konkrete eksempler især kan forklares med kuldebroer, dårligt klæbede vinduer og manglende teknisk isolering (af rør), ligesom øget ventilation og – først og fremmest – en øget indetemperatur kan skrive det reelle varmeforbrug op i forhold til beregningerne.

En grad koster 7 pct. ekstra
Forskere på Statens Byggeforskningsinstitut og DTU mener ikke, at der er grund til at lave så meget hulrum i af-

at det målte energiforbrug overstiger det beregnede. Professor Svend Svendsen fra BYG DTU vil ikke afvise, at der kan være tale om dårligt udførte eller designede bygninger, der fører til højere energiforbrug.

»Men vi har målinger på nye typehuse opført efter de nye regler, der viser god overensstemmelse mellem beregnede og målte energiforbrug – på nær forskelle i brugernes adfærd, fordi temperaturen i de fleste hjem i dag nærmere ligger på 22 grader end på de 20 grader, man bruger som basis for beregning af varmeforbruget,« siger han.

Svend Svendsen erkender, at det i forhold til klimaregnskabet er mest relevant, hvad vi rent faktisk bruger af energi, og ikke, hvad vi har beregnet os frem til.

Seniorforsker Kim Wittchen, SBI, tror heller ikke, at overskridelserne er særlig markante, men understreger, at SBI ikke har undersøgt sagen nærmere. Han fastslår, at de konkrete eksempler især kan forklares med kuldebroer, dårligt klæbede vinduer og manglende teknisk isolering (af rør), ligesom øget ventilation og – først og fremmest – en øget indetemperatur kan skrive det reelle varmeforbrug op i forhold til beregningerne.

»For hver grad, man skruer op for temperaturen i stuerne, stiger varmeforbruget ca. syv pct. Så det er noget, der batter i et regnskab,« siger han.

Kim Wittchen mener, at den beregningsmæssige tilgang er den mest velegnede, når man vil sammenligne bygninger. Hvis man måler det reelle forbrug, får man i stedet en test af familierne.

»Men man skal bare ikke være blind for, at det ikke er det virkelige forbrug, husejeren får på sin energitæst,« siger han.

Hos Rockwool er man overbevist om, at varmeforbruget ofte ligger højere, end man be-



▲ **FLAGSKIB.** Byggeri 2000, der rummer Rockwool-koncernens forsknings- og udviklingsafdeling, er opført som et såkaldt 2-liters hus. Det vil sige, at det skulle kunne nøjes med to liter olie pr. m² om året til opvarmning mod fem liter i et normalt dansk kontorbyggeri. I praksis er forbruget tre gange så højt. [foto: Rockwool]

regner sig frem til. Ifølge underdirektør Claus Buge Garn er en vigtig del af forklaringen den højere reelle rumtemperatur på 22 grader. En anden årsag er, at varmebidraget fra belysning, elektriske apparater samt personer er overvurderet.

»Man burde tage konsekvensen af, at folk har 22 og ikke 20 grader i deres hjem og lave beregningsforudsætningerne efter det. Det vil give en

bedre overensstemmelse mellem teori og praksis, men selvfølgelig også gøre det sværere for byggeriet at nå ned på det energiniveau, vi har sat os for,« siger han.

Energimærke tager de brådne kar

I Energistyrelsen, som har ansvaret for Danmarks energipareindsats, peger chefkonsulent Peter Bach på, at kommunerne giver byggetil-

ladelserne og i givet fald skal skride ind, hvis energikravene i bygningsreglementet ikke virker. Men at erfaringerne viser, at stramning af energikravene slår igennem i de nye bygninger.

Styrelsen har dog ikke undersøgt, hvorvidt bygningerne faktisk lever op til kravene. En sådan undersøgelse kan ifølge Per Bach være vanskelig, da det faktiske forbrug også afhænger af

en række adfærdsmæssige forhold.

»Det nye krav om, at alle nye bygninger skal energimærkes af en uvidig konsulent, vil medvirke til at sikre, at de nye bygninger i højere grad lever op til kravene. Det vil gøre det lettere for kommunerne at kontrollere, om energirammen er overholdt, og det vil forhåbentlig sortere nogle af de mest brodne kar fra,« siger han. □



Building Energy Performance

- *Hvorfor passer bygningers beregnede energiforbrug ikke med virkeligheden?*
- *Hvilken usikkerhed er der på energiforbruget (robusthed)?*
- *Kan bygningers energiforbrug bestemmes?*

- Langt afgangsprøve (9. – 10. semester) for 1 – 3 stud.
- I samarbejde med: SBI, VELUX, evt. større rådg. ingeniørfirma
- Vejledere: Henrik Brohus og Per Heiselberg

Projektets formål er at undersøge sammenhængen mellem bygningers beregnede og virkelige energiforbrug. Det afdækkes, hvorfor der konstateres så store afvigelser og vurderes, om der er behov for nye beregningsmetoder og -forudsætninger.

Herunder arbejdes der med vurdering af usikkerheden på energiberegninger samt bygningers robusthed.





DEL 1: State-of-the-art undersøgelse

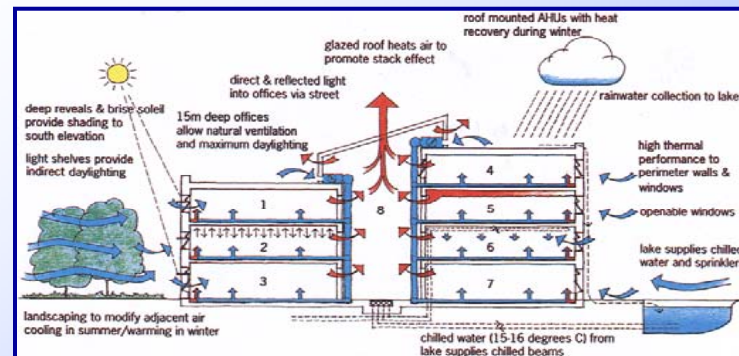
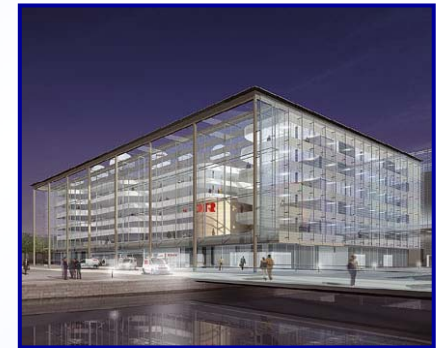
- Eksisterende beregningsmetoder
- DK og udlandet...

DEL 2: Vurdering af eksisterende metoder

- Vurdering af eksisterende metoder
- Forslag til nye metoder
- Implementering i BR ?!

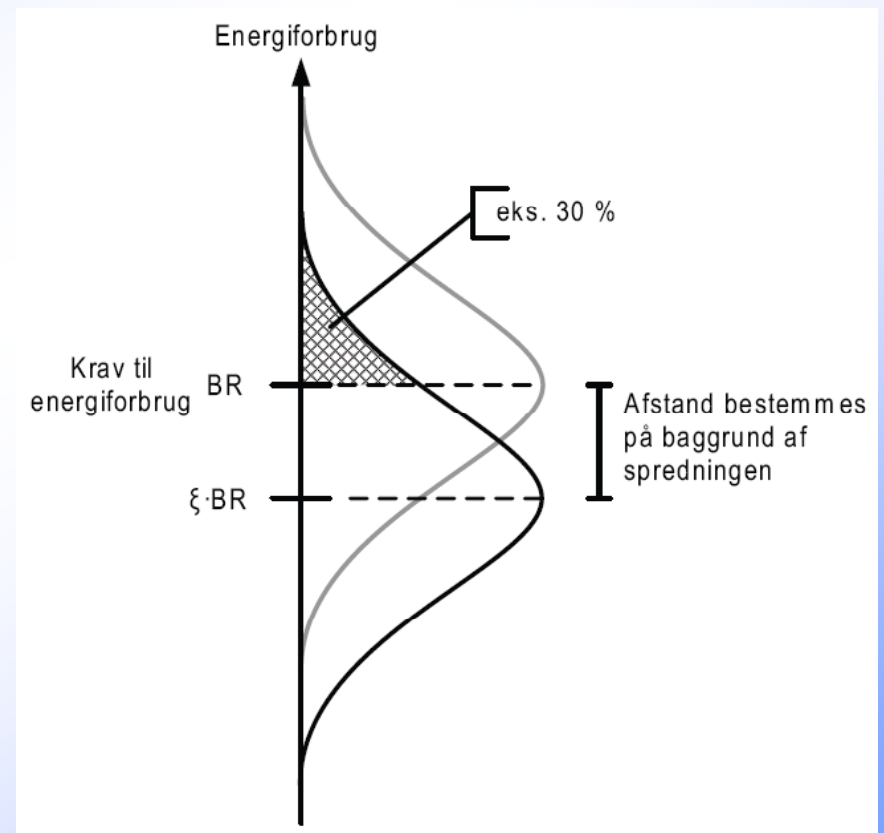
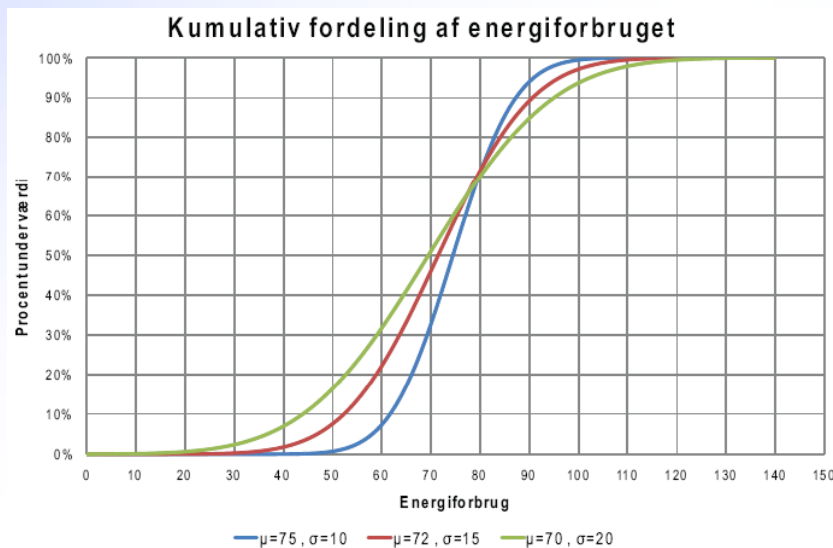
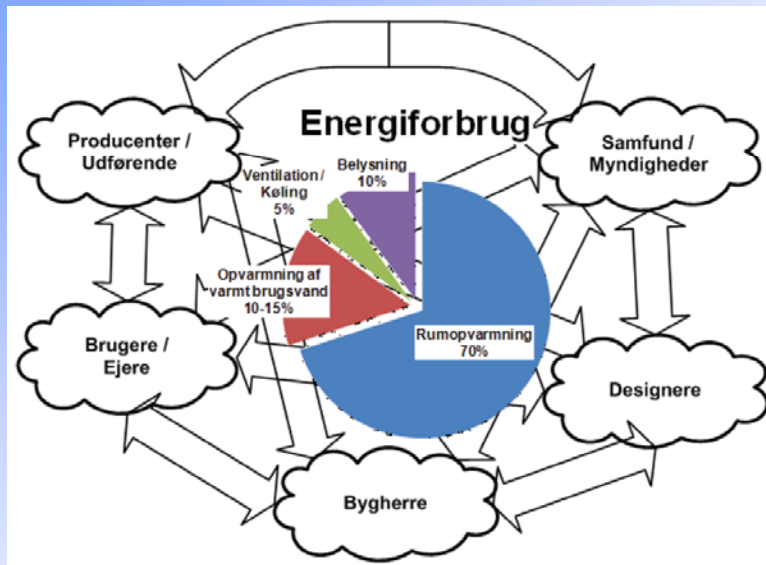
DEL 3: Case: Beregning og måling på eksisterende bygninger

- VELUX (to identiske test-huse)
- Virkelig bygning
- Sammenligning m.v.





Eksempler fra Allan og Henriks projekt...





VELUX Test-huse

- **2 identiske fulldskala test-huse med hver otte VELUX vinduer**
 - Udsat for samme betingelser
 - Solafskærmning, ventilation mv. på det ene; det andet som reference
- **Energiberegning og vurdering**
 - U-værdi for hele test-huset
 - Måle og beregne effekt af tilbehør
 - Udv./indv. solafskærmning, automatisk åbne/lukke vindue
 - Etc.

